Über die Beeinflussung der Verkokungseigenschaften von Rohschlamm durch die Flotation und über die verkokungstechnische Wirkung des Zusatzes von Rohschlamm und flotierter Kohle auf die Feinkohle.

Von der

Technischen Hochschule zu Breslau

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs

genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Alexander van Ahlen**

aus Katernberg.

Referent: Prof. Dr. Ing. W. Gross

Korreferent: Prof. Dr. phil. B. Neumann

Tag der mündlichen Prüfung: 20. 7. 1934.

Breslau 1937.

Druck von Paul Plischke, Breslau 1.

* 41438

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Die Zentralisierung im Ruhrbergbau, die Zusammenfassung der Förderungen früher selbstständiger Schachtanlagen auf einer Zentralanlage, hat die Aufbereitung dieser hohen Fördermengen in Großaufbereitungen zur Folge. So sind auf verschiedenen Großanlagen des Ruhrgebietes Aufbereitungen bis 10 000 To. Tagesdurchsatz gebaut worden. Bei diesen großen Durchsatzleistungen werden wegen des immer noch verhältnismäßig geringen Wirkungsgrades der Entstaubungen — 70 bis 75% — erhebliche Schlammmengen an einem Ort zusammengefahren. Der hohe Schlammanfall wird noch erhöht durch den bei Großanlagen vermehrten Abrieb. Diese großen Schlammengen müssen in irgend einer Form eine nutzbringende Verwendung finden. Ein Verkauf ist bei dem stetig fallenden Bedarf an Schlammkohle nicht ausreichend. Eine Verfeuerung des Schlammes als Zusatz zur Kesselkohle ist schon dadurch nicht angängig, da das bei der Aufbereitung notwendigerweise anfallende Mittelprodukt und ferner der Koksgrus den Energiebedarf der Zechen vollauf zu decken in der Lage sind. Darüber hinaus deckt der Bezug fremder elektrischer Energien immer mehr den Kraftbedarf der Zechen. Das Schlammproblem erhält eine immer größer werdende Bedeutung. Dazu kommt noch die immer schärfer vertretene Forderung der Aufbereitungstechnik: die höchste Wertsteigerung aller bei der Aufbereitung anfallenden minderwertigen Produkte. Die einzige Möglichkeit einer wirtschaftlichen Nutzbarmachung des Schlammes sieht man mehr zwangsläufig im Zusatz zur Kokskohle. Den Schlamm unaufbereitet der Kokskohle zuzusetzen, konnte man sich aber wegen seines hohen Aschengehaltes nicht entschließen, da man natürlich in der Feinkornwäsche das höchstmögliche Ausbringen erreichen und auch den größten Teil des Windsichterstaubes ebenfalls der Kokskohle zusetzen will. Dazu kam noch der oft nicht richtig verstandene Grundsatz der Aufbereitung, daß jeder Zusatz unaufbereiteter Kohle zur gewaschenen Kohle das Gesamtausbringen der Aufbereitung drücken soll. Man hielt also eine Aufbereitung des Schlammes für unbedingt notwendig.

Da man es beim Schlamm zum großen Teil mit Korngrößen unter 1 mm zu tun hat, die durch naßmechanische Aufbereitung kaum aufbereitet werden können, kommt lediglich eine Aufberei-

tung dieser Korngrößen durch Flotation in Frage. Man ging dabei von der Voraussetzung aus, den Schlamm durch die Drückung des Aschen- und Schwefelgehaltes so weit in seinem Wert steigern zu können, daß man ihn der Feinkohle gleichsetzen zu können glaubte um damit eine Wertsteigerung in der Erlösbilanz der Aufbereitung von RM. 5,— Schlammpreis — auf RM. 12,50 — Feinkohlenpreis — also von RM. 7,50 erreicht zu haben.

Man hat in Verkennung des Zweckes allein den Aschengehalt einschließlich Schwefelgehalt als Wertbasis für die Beurteilung der Kohle zu Grunde gelegt und von diesem Standpunkt aus die Notwendigkeit einer Aufbereitung des Schlammes beurteilt. Die Gütenorm einer Kohle, die mit zur Verkokung verwandt werden soll, ist aber nach den heutigen Erkenntnissen durch andere weit ausschlaggebendere Umstände bedingt. Da der Verwendungszweck des aufbereiteten Schlammes die Verkokung ist, muß nach der Zielsetzung der Aufbereitung der Schlamm möglichst zu einer Kokskohle aufbereitet werden und nicht zu einer Kohle mit niederem Aschen- und Schwefelsgehalt. Denkt man sich aber den Schlamm von vornherein als Zusatzmittel zu Kokskohle, also primär als nicht hochwertiges Gut, dann ist unbedingt festzustellen, ob die Minderwertigkeit des unaufbereiteten Schlammes so groß ist, daß er unaufbereitet der Kokskohle nicht zugesetzt werden kann, was nicht allein im höheren Aschengehalt begründet liegt. Es ist somit zu prüfen, erstens ob die flotative Aufbereitung des Schlammes der Tendenz jeglicher Aufbereitung also einer maximalen Wertsteigerung für die Verwendung als Kokskohle auf der Basis aller die Güte einer Kokskohle bedingenden Eigenschaften entspricht; zweitens ob der Zusatz unaufbereiteten Schlammes zur Kokskohle möglich ist, ohne die Güte des ausgebrachten Kokses zu verschlechtern. Falls eine Verschlechterung eintritt, ist festzustellen, ob diese wesentlich größer ist als bei Zusatz eines trotz Aufbereitung gegebenenfalls minderwertigen aufbereiteten Schlammes.

Die beiden angeführten Fragen einer Klärung zu unterziehen, ist der Gegenstand der folgenden Untersuchungen. Zur ersten Frage, ob die Flotation eine Wertsteigerung des unaufbereiteten Schlammes in der vollkommenen Erfassung ihres Zweckes ist, werden beide Schlammarten, Rohschlamm und Flotationsschlamm, auf sämtliche die Verwendungsmöglichkeit und Güte einer Kokskohle bestimmenden Faktoren untersucht und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Die Untersuchungen würden jedoch keineswegs den Anspruch auf Klarheit ergeben können, wenn man sich darauf beschränkt, die beiden Schlämme in ihrer Gesamtheit der Prüfung zu unterziehen. Bei der Inhomogenität des Materials an sich ist eine Aufteilung des Schlammes in einzelne Korngrößen notwendig. Die beiden Schlämme wurden deshalb einer Aufteilung in einzelne Kornfraktionen unterzogen und die Untersuchun-

gen für jede einzelne Korngröße beider Schlämme getrennt durchgeführt. Zur zweiten Frage, wie sich der Zusatz der beiden Schlämme auf die Verkokungsfähigkeit der Kohle und die Güte des Kokses auswirkt, werden die Versuche so durchgeführt, daß die Mischungen von Feinkohle und Schlamm beider Arten wiederum auf die Eigenschaften untersucht werden, die für die Verkokung von Bedeutung sind. Die Gegenüberstellung der Werte ergibt, in welcher Weise sich der Zusatz ausgewirkt hat. Diese Kohlenmischungen werden dann verkokt und der ausgebrachte Koks auf seine Güte und damit auf die Beeinflussung dieser durch die Zusätze untersucht. Es ist natürlich, daß dabei mit in der Menge wechselndem Zusatz gearbeitet werden muß, um einerseits aus mehreren Versuchen eine klare Erkenntnis zu gewinnen und andererseits festzulegen, wie hoch der Zusatz gesteigert werden kann.

Die Art und der Umfang der Untersuchungen sind gegeben durch die Eigenschaften, die für die Verkokung auf Grund der in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen maßgebend sind. Die Schlämme bzw. ihre Kornfraktionen werden somit auf folgende Verkokungsbedingungen untersucht: Korngrößenverteilung, Aschengehalt, Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, Gehalt an Schwefel, stoffliche Zusammensetzung, Treibdruck, Backfähigkeit und Blähgrad. Durch diese Prüfung wird eine Klärung ermöglicht und das Ergebnis gesichert.

Für die Untersuchungen wurden Schlämme aus der Luftflotation einer Grube des mittleren Ruhrgebietes verwandt. Die Probenahme der beiden Schlämme ist von grundlegender Bedeutung, da sie den Betriebsdurchschnitt unbedingt erfassen muß. Sie wurde deshalb über 6 Tage ausgedehnt. Ein wesentlicher Unterschied der Flotationsergebnisse an den einzelnen Probetagen bestand nicht. Die Dauer der Probenahme betrug 7 Stunden und wurde in den normalen Betriebsgang der Flotation verlegt. Während der siebenstündigen Probenahme wurde alle Viertelstunde Probe gezogen. Der Rohschlamm wurde aus der Aufgaberinne zu den Schlammsieben und der Flotationsschlamm am Austrag der Filter genommen. Die für die Mischversuche notwendige Fettfeinkohle wurde vom Aufgabeband über den Feinkohlenentwässerungstürmen gezogen. Die Schlämme wurden in einem ungefähr 40 Grad warmen Raum in kurzer Zeit luftgetrocknet und so aufbewahrt, daß die Kohle vor Oxydation soweit wie möglich geschützt war. Die Feinkohle wurde in großen luftdicht verschlossenen Tonnen aufbewahrt.

Die Gewinnung der für die Untersuchung der Korngrößen notwendigen einzelnen Siebfraktionen der beiden Schlämme wurde von einer Probe von 20 kg, die aus der gesamten Probe herausgeviertelt war, ausgeführt.

Diese Probemenge wurde im Trockenschrank bei 105 Grad getrocknet und nach folgender Siebskala abgesiebt: Rohschlamm: 4 — 2 — 1 — 0,75 — 0,5 — 0,2 — 0,102 — 0,088 mm, Flotationsschlamm: 0,75 — 0,5 — 0,2 — 0,102 — 0,088 mm. Die Absiebung + 0,5 mm wurde auf quadratisch gelochten Drahtsieben vorgenommen, die Feinabsiebung auf dingenormten Gewebesieben. Die Siebfraktionen wurden in Pulverflaschen mit eingeschliffenem Deckel luftdicht aufbewahrt.

Die Korngrößenzusammensetzung geht aus Zahlentafel 1 hervor. Die Asche der einzelnen Korngrößen der beiden Schlämme

Zahlentafel I.

Korngröße	Mengenanfall %		Aschengehalt %		Siebanteil 0,75 mm %
mm	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.
Gesamt	—	—	21,06	12,51	—
—4	3,91	—	9,38	—	—
4—2	6,24	—	10,64	—	—
2—1	14,45	0,34	16,66	—	—
1—0,75	8,48	0,34	15,15	—	—
0,75—0,5	16,75	1,63	16,16	10,85	25,11
0,5 —0,2	21,80	40,20	19,53	9,94	32,67
0,2 —0,102	11,75	22,15	21,01	11,59	17,61
0,102—0,088	2,88	5,80	30,19	13,18	4,32
—0,088	13,47	29,20	31,72	18,60	20,18

zeigt die allgemein bekannte Tendenz der Zunahme des Aschengehalts mit abnehmender Korngröße. Der Aschengehalt des Flotationsschlammes verläuft bis zur Korngröße 0,2 mm nur schwach ansteigend, steigt aber dann sehr stark an, um in der feinsten Korngröße einen Aschengehalt von 18,60% anzunehmen. Der Aschengehalt der Korngrößen des Rohschlammes verläuft stetiger ansteigend und erreicht in der feinsten Korngröße 31,72% Asche. Der Gesamtrohschlamm — 0,75 mm hat einen Aschengehalt von 21,06%, der der Flotationskohle beträgt 12,51%. Das bedeutet eine Drückung der Asche um nur 45,50%. Der Drückungsgrad der einzelnen Korngrößen der beiden Schlämme ist in Zahlentafel II enthalten.

Zahlentafel II.

Korngröße	Drückung %	
mm	Aschengehalt	Bergegehalt
0,75 —0,5	32,86	41,17
0.5 —0,2	49,58	50,00
0,2 —0.102	46,74	54,13
0,102—0,088	56,34	61,71
—0,088	42,75	34,70

Diese Drückung des Aschengehaltes erscheint selbst bei reinen Bergen als zu gering, denn nach einer Zusammenstellung von

Kühlwein[1]) werden auf einer Reihe von Flotationen der verschiedenen Bergbaugebiete zum Teil erheblich höhere Werte im Drückungsgrad erzielt. Auffällig ist der niedrige Wert bei Korngröße 0,75—0,5 mm mit nur 32,86% Abnahme. Diese Korngröße ist zweifellos zu grob, um auf einer Luftflotation flotiert werden zu können. Gross[2]) gibt als Grenzwert für den Betrieb einer Luftflotation eine Korngröße von 0,5 mm an. Die Korngrößen — 0,75 mm mit Ausnahme der feinsten Korngrößen erreichen den durchschnittlichen Drückungsgrad der Asche von 45%. Die beste Wirkung wird bei der Korngröße 0,102—0,088 mm erreicht mit 56,34% Drückung der Asche. Sie fällt aber wegen ihres geringen Anteils am Gesamtkorn nicht ins Gewicht. Die Korngröße — 0,088 mm mit 20,18% vom Gesamtgut und höchstem Aschengehalt zeigt ebenfalls wie die Korngröße 0,75 — 0,5 mm eine schlechte Wirkung der Flotation, sowohl bezüglich der Gesamtasche als auch der Berge. Diese geringe Wirkung wird zum Teil bedingt durch die in dieser Kornfraktion vorhandene starke Fusitanreicherung und dadurch, daß hochdisperser Ton und Letten ins Konzentrat gehen und teilweise auch adsorptiv an die Kohle gebunden sein werden. Zur Bewertung der Flotation und zur Gegenüberstellung der Gütegrade der beiden Schlämme sind die S. u. S. Analysen der beiden Schlämme herangezogen. Sie wurden durch Zentrifugieren nach Gross erhalten.

Zahlentafel III.

Dichtestufe	Anfallmenge %		Aschengehalt %	
	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.	Flot.Schl.
—1,25	0,7	—	1,07	—
1,25—1,28	26,1	5,0	1,20	1,06
1,28—1,30	10,9	5,5	2,31	0,99
1,30—1,40	17,4	43,4	7,56	3,60
1,40—1,80	21,0	31,5	24,77	13,26
1,80—2,00	5,0	10,5	40,75	44,54
2,00—2,40	7,0	0,5	67,85	65,30
—2,40	21,0	3,6	77,23	83,11

Nimmt man als Gütegrenze den Schwimmanteil bis zur Dichtestufe 1,4, so ergibt sich für den Rohschlamm ein Gütegrad von 55,1%, für den Flotationsschlamm ein solcher von 54,0%. Dieser ist also um ein geringes schlechter als der des Rohschlammes. Es tritt bei der Bewertung des Gütegrades aus der S. u. S. Analyse neben dem Aschengehalt sehr nachdrücklich die stoffliche Zusammensetzung der Kohle in Erscheinung, die sich, wie später gezeigt wird, sehr zu Ungunsten des Flotations-

[1]) Kühlwein, Glückauf 1929, S. 321.
[2]) Groß, Z. Oberschl. Verein 1926, S. 2.

schlammes verschoben hat. Der Durchschnittsaschengehalt der Anteile Dichtestufe 1,4 ist als gleich anzusehen. Er beträgt für Rohschlamm 3,42%, für Flotationsschlamm 3,1%. Eine wesentliche Veränderung oder gar Verbesserung des Gütegrades hat somit durch die Flotation nicht stattgefunden. Da man die Dichtestufe 1,4 als Grenzstufe für die Summe der Gefügebestandteile Glanzkohle und Mattkohle ansehen kann, kann sich in den jeweiligen Mengenanteilen Glanzkohle und Mattkohle des Roh- bzw. des Flotationschlammes nicht viel geändert haben, was auch durch die stoffliche Analyse bestätigt wird, soweit man deren Ergebnisse mit denen der S. u. S. Analyse in Verbindung bringen kann. Der Anteil Glanzkohle + Mattkohle beträgt bei Rohschlamm 73,8% bei Flotationschlamm 65,8%, die entsprechenden Werte für die Gütenorm 55,1% bzw. 54,0% und für den mittleren Aschengehalt 3,42% bzw. 3,1%. Der mittlere Aschengehalt des Flotationsschlammes ist wegen des höheren Anteiles an Weichfaserkohle etwas niedriger. Legt man für den Flotationsschlamm einen zu erzielenden Aschengehalt von ca. 10% zu Grunde, was einem Drückungsgrad von 55% im Vergleich zu dem erzielten von 45% entsprechen würde, so wird dieser Aschengehalt von ca. 92% des Flotationsschlammes bestritten. Ein um 8% geringeres Ausbringen bei gleicher Art der Flotation würde genügen, um den Aschengehalt von 10% zu erzielen. Diese 8% des Flotationsschlammes mit ihrem hohen Aschengehalt stellen neben Pyrit in der Hauptsache Aluminium-Silikate, Alkali-Silikate bzw. Phosphate und Letten dar, die durch geeignete Behandlung der Flotation, durch Dispersion in alkalischer Trübe gedrückt werden könnten. Tone und Letten haften allerdings zum Teil an der Kohle. Dieser Anteil muß bei der Flotation durch peptisierende Mittel von der Kohle gelöst werden, wodurch die Kohle den Einwirkungen der Flotation zugänglich würde. Ein Übergehen der Letten und Tone in das Konzentrat kann jedoch nicht ohne weiteres vollkommen vermieden werden. Denn mit der Konzentrattrübe werden hochdisperse Tonteilchen mitgeführt, die dann bei der nachfolgenden Filterung sich wiederum an die Kohle anhaften können, was durch eigene Versuche nachgewiesen wurde. Über die Wirkungsweise peptisierender und suspendierender Reagenzien auf den Aschengehalt hat Petersen[3]) eingehend berichtet, dessen gute Ergebnisse durch eigene Untersuchungen bestätigt werden konnten. Auf den Grund für das unbefriedigende Arbeiten der Flotation soll hier nicht weiter eingegangen werden. Es sei nur darauf hingewiesen, daß auch die Kohleflotation einer viel differenzierteren und chemisch-physikalischen Betriebsweise unterworfen werden muß, um einen wirtschaftlichen Erfolg zu erzielen.

---

[3]) Petersen, Glückauf 1931, S. 1445.

Zahlentafel IV.

Korngröße	Flücht. Bestandteile		Fl. Bestandt. Reinkohle	
mm	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.	Flot.Schl.
Gesamt	23,36	22,96	29,30	26,24
—4	29,71	—	32,78	—
4—2	26,18	—	29,29	—
2—1	25,41	—	30,44	—
1—0,75	26,68	—	31,44	—
0,75 —0,5	26,08	25,32	39,98	28,40
0,5 —0,2	24,56	24,83	30,52	25,57
0,2 —0,102	22,65	24,68	28,66	27,90
0,102—0,088	21,74	23,56	31,14	27,13
—0,088	16,92	19,10	24,82	23,46

Die in Zahlentafel IV zusammengestellten und auf Reinkohle umgerechneten flüchtigen Bestandteile der Korngrößen der einzelnen Schlämme sind, da es sich um ein Gemisch von Fett und Gaskohle handelt, als verhältnismäßig hoch anzusehen vor allem beim Rohschlamm. Diese Unstimmigkeit ist jedoch wohl auf den hohen Aschengehalt der Kohle von 10 bis 32% zurückzuführen. Bei der Verkokung im Tiegel werden nicht allein die Gasbestandteile flüchtig, sondern auch Karbonate, Alkalichloride und -Sulfate der Berge bzw. Kohlensubstanz und ein Teil des Schwefels vom Pyrit, wodurch die Menge der flüchtigen Bestandteile eine zumal bei hohen Aschengehalten nicht unwesentliche Steigerung erfahren kann. Hierauf hat auch Schwarzkopf[4]) hingewiesen. Auch die Gasgehalte der Korngrößen des Flotationsschlammes sind wohl als hoch anzusehen, was ebenfalls durch den Aschengehalt bedingt sein wird. Der Gasgehalt der einzelnen Korngrößen ist zweifellos abhängig von der prozentualen Verteilung der Gefügebestandteile, worüber bereits eingehend berichtet wurde[5]). Die Abstufung des Gasausbeuten der einzelnen Gefügebestandteile ist aber keineswegs eindeutig. Denn bei der Mattkohle müssen infolge ihrer hetergerogenen Zusammensetzung und der Verschiedenheit der einzelnen Stoffkomponenten Unterschiede im Gasgehalt auftreten. Auch bei der Faserkohle sind Schwankungen je nach ihrer Natur, ob Weich- oder Hartfaserkohle, vorhanden.

Der unregelmäßige Verlauf des Gasausbeuten bei abnehmender Korngröße, die im Widerspruch zu der stetigen Verschiebung der stofflichen Zusammensetzung der beiden Schlämme steht, ist nur durch eine Verschiebung in der anteilmäßigen Zusammensetzung des heterogenen Gefüges der Mattkohle und an einer Änderung des Verhältnisses Hartfaserkohle — Weichfaserkohle zu suchen.

[4]) Schwarzkopf, 15. Ber. Folge d. Kohlenstaubausschusses.

[5]) Hofmann, Glückauf 1928, S. 1233; Rittmeister, Glückauf 1928, S. 589; Kremser, Dissertation Breslau 1932; Schönmüller, Glückauf 1929, S. 978; Bosserée, Annalen Belg. 1926, S. 369.

Die Untersuchung der einzelnen Korngrößen der beiden Schlämme auf Schwefel und seine Verteilung auf Pyritschwefel und organischen Schwefel zeigt Zahlentafel V.

Zahlentafel V.

Korngröße mm	Gesamtschwefel %		Pyrit %		Pyritschwefel %		org. Schwefel %	
	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.	Flot.Schl.	Roh.Schl.	Flot.Schl.
Gesamt	2,73	1,81	1,9	1,7	0,95	0,85	1,83	0,96
-2	1,14	—	1,0	—	0,5	—	0,64	—
2 -1	2,12	—	1,5	—	0,75	—	1,37	—
1 -0,75	1,84	—	1,6	—	0,8	—	1,04	—
0,75 -0,5	1,93	1,42	1,8	1,5	0,9	0,75	1,03	0,67
0,5 -0,2	2,46	1,44	2,2	1,5	1,1	0,75	1,36	0,96
0,2 -0,102	2,48	1,91	2,2	1,6	1,1	0,8	1,38	1,11
0,102-0,088	3,33	2,21	3,0	2,0	1,5	1,0	1,83	1,21
-0,088	5,85	2,55	5,8	2,3	2,9	1,15	2,95	1,40

Sulfatschwefel ist nur in unwesentlichen Mengen festgestellt worden, und kann deshalb vernachlässigt werden. Der organische Schwefel ist für die Verkokung an sich unbedeutend und kann deshalb bei der Auswertung der Versuchsergebnisse ausscheiden. Von ungleich wichtigerer Bedeutung ist der Pyrit, da er als accessorischer Bestandteil der Kohle durch Mittel der Aufbereitung ausgehalten werden kann und muß. Der Pyrit liegt bei beiden Schlämmen in dreifacher Form vor, in freier Form in feiner bis feinster Körnung, und verwachsen mit Kohle. Dieses ließ sich durch binokulare Untersuchung eindeutig feststellen, wobei der frei vorliegende Pyrit stark überwog. Diese Erscheinung ist zum Teil eine sekundäre, da bei der Zerkleinerung der Kohle für die Untersuchung eine Aufschließung des Pyrits erfolgt. Die dritte Art des beobachteten Vorkommens ist die feiner bis feinster Infiltration in der Kohle. Bei beiden Schlämmen reichert sich der Pyrit bei abnehmender Korngröße an. Diese starke Zunahme vor allem in den feinsten Korngrößen ist außer der natürlichen primären Anreicherung weiter darauf zurückzuführen, daß durch die mechanische Beanspruchung der Kohle im Verlauf des Aufbereitungsganges die Infiltrationen aus der Kohle herausgelöst worden sind und so als sekundäres Material die starke Zunahme herbeiführen. Die Zunahme des Pyrits mit steigender Kornfeinheit ist der Zunahme der Faserkohle und der Abnahme der Glanz- und Mattkohle analog. Es ist aber trotz strittiger Auffassung als feststehend anzusehen, daß die Zunahme des Pyrits in erster Linie eine Folge der abnehmenden Korngröße, nicht eine solche der Zunahme der Faserkohle ist. Bei der Gegenüberstellung des Schwefels- bzw. Pyritgehaltes der Korngrößen von Roh- und Flotationsschlamm ist festzustellen, daß der Gehalt an Gesamtschwefel und Pyrit im Flotationsschlamm abgenommen hat. Die Stärke der Abnahmen zeigt

Zahlentafel VI.

Korngröße mm	Abnahme % Gesamtschwefel	Pyrit
0,75 —0,5	26,42	16,60
0,5 —0,2	41,60	31,82
0,2 —0,102	23,00	27,18
0,102—0,088	56,70	33,33
—0,088	46,40	60,35
Gesamt	35,72	33,33

Der Gesamtschwefel und auch der Pyrit lassen mit Ausnahme der Korngröße 0,5 — 0,22 mm eine zumal bei den feineren Korngrößen stetig wachsende Aushaltung des Gesamtschwefels erkennen. Bezogen auf das Gesamtkorn von Roh- und Flotationsschlamm hat eine Drückung des Schwefelgehaltes um 35,72% und des Pyrits um 33,3% stattgefunden. Diese Drückung muß als zu gering angesehen werden. In der Literatur liegen hierüber nur wenige Angaben vor. Nach einer Zusammenstellung von Mayer[6]) sind folgende Ergebnisse erzielt: Mont-Cenis 1,22% Schwefel in Rohschlamm, 1,10% im Flotationsschlamm, Drückung 9,82%. Die entsprechenden Zahlen lauten für Möllerschächte: 1,63%, 1,19%, 26,99%, für Ilseder Hütte: 2,01%, 1,20%, 40,33%, für Georg-Marienschacht: 4,85%, 2,10%, 57,0%. Diese Ergebnisse sind sehr unterschiedlich und wenig eindeutig, lassen aber erkennen, daß mit steigendem Gehalt an Schwefel eine stärkere Abnahme des Schwefels im Konzentrat zu erzielen ist. Hieraus folgend müßte allein vergleichsmäßig die Drückung des Pyrits bei der untersuchten Kohle stärker sein. Bei einer sachgemäßen Flotation muß sich der frei vorliegende Pyrit fast vollkommen aushalten lassen. Vorbedingung ist allerdings dabei eine alkalische Trübe, da der Pyrit in neutraler oder saurer Trübe aufschwimmt.

Das Ergebnis der stofflichen Analyse, die nach dem Verfahren von Stach[7]) ausgeführt wurde, ist in Zahlentafel VII zusammengestellt.

Zahlentafel VII.

Korngröße mm	Glanzkohle %		Mattkohle %		Faserkohle %		Berge %		Pyrit %	
	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.
Gesamt	63,0	56,0	12,2	9,8	12,9	25,4	10,0	7,0	1,9	1,7
—4	63,4	—	23,2	—	7,4	—	5,0	—	1,0	—
4—2	53,5	—	32,0	—	8,3	—	4,7	—	1,5	—
2—1	69,6	—	13,4	—	6,5	—	9,0	—	1,5	—
1—0,75	67,6	—	14,4	—	8,6	—	7,8	—	1,6	—
0,75—0,5	66,0	65,7	13,0	10,3	9,0	16,5	10,2	6,0	1,8	1,5
0,5—0,2	66,6	65,1	13,0	9,1	8,2	19,3	10,0	5,0	2,2	1,5
0,2—0,102	63,6	64,8	12,1	7,2	8,8	20,3	13,3	6,1	2,2	1,6
0,102—0,088	55,9	57,4	9,4	6,3	13,4	27,3	18,3	7,0	3,0	2,0
—0,088	48,3	44,9	10,9	3,8	21,3	37,9	17,0	11,1	2,3	2,3

[6]) Mayer, Coal Age 1933, S. 375.
[7]) Stach, Intern. Bergw. u. Bergt. 1931, S. 255.

Sie zeigt bei beiden Schlämmen den in der Literatur vielerorts nachgewiesenen Verlauf: mit zunehmender Kornfeinheit eine Abnahme von Glanz- und Mattkohle und eine Zunahme der Faserkohle. Die Analysenfunde der Korngrößen + 2 mm Rohschlamm fallen aus der Tendenz der Werte heraus und müssen nach der ganzen Art des stofflichen Wechsels als Fehlbestimmungen gewertet werden, was zweifellos auf die für grobe Korngrößen geringe zur Verfügung stehende Probemenge zurückzuführen ist. Der Bergegehalt beider Schlämme steigt mit zunehmender Kornfeinheit und folgt auch hier der genügend bekannten Gesetzmäßigkeit der Anreicherung in den feinsten Korngrößen. Das gleiche gilt, wie schon gesagt, für den Pyrit. Bei den Korngrößen — 0,2 mm dürfte der Anteil an Weichfaserkohle ganz erheblich zunehmen, während man beim Rohschlamm in den gröberen Korngrößen eine Anreicherung von Hartfaserkohle annehmen kann. Denn der Zunahme an Faserkohle entspricht keine gleichstarke Zunahme des Gesamtaschengehaltes unter Berücksichtigung der Berge. Bei der Faserkohle des Flotationsschlammes überwiegt bei weitem die Weichfaserkohle. Denn der Zunahme an Faserkohle entspricht unter Berücksichtigung der Berge nicht eine gleich starke Zunahme des Gesamtaschengehaltes. Bei der Gegenüberstellung der stofflichen Analyse der beiden Schlämme fällt die überaus starke Anreicherung an Faserkohle im Flotationsschlamm auf, vor allem bei den Korngrößen 0,5—0,2 und 0,2—0,102 mm. Die geringe prozentuale Zunahme in den beiden feinsten Korngrößen findet ihre Erklärung darin, daß aus dem Rohschlamm wahrscheinlich die gesamte Weichfaserkohle, die sich naturgemäß wegen ihrer geringen Korngröße in den feinsten Korngrößen anreichert, in das Konzentrat flotiert ist. Der mineralisierte Hartfusit ist in die Berge gegangen. Das schlechte stoffliche Ergebnis der Flotation ist darauf zurückzuführen, daß mit den Bergen große Mengen Mattkohle in die Abgänge gegangen sind und fast der gesamte Fusit in das Konzentrat flotiert ist. Das zeigt außer die Zunahme an Faserkohle, die starke Abnahme an Mattkohle und die nur ganz geringe Zunahme an Glanzkohle im Flotationsschlamm im Vergleich zum Rohschlamm. Die Untersuchung der einzelnen Zellengruppen ergab, daß das erste Drittel der Zellen mit 53% Ausbringen eine starke Anreicherung an Glanzkohle austrägt, während die restlichen Zellen mit 47% Ausbringen wesentliche Mengen Faserkohle mit wenig Matt- und Glanzkohle ergeben.

Es ist bereits eingangs nachdrücklichst darauf hingewiesen worden, daß die Flotation nach ihrer Zielsetzung die Aufgabe hat, den Schlamm für die Verkokung aufzubereiten. Die bisher untersuchten Bedingungen — Asche, Schwefel, Gasausbeute, stoffliche Zusammensetzung — bestimmen aber nicht allein die Verkokungsgüte und -Fähigkeit des Schlammes, sondern in viel höherem Maße die unmittelbaren Verkokungseigenschaften, wie

Treibdruck, Schwindung, Backfähigkeit und Blähgrad. Die folgenden Untersuchungen sollen feststellen, wie diese Faktoren durch die Flotation beeinflußt worden sind. In Zahlentafel VIII sind die Versuchsergebnisse über die angeführten Verkokungseigenschaften zusammengestellt.

Die einzelnen Verkokungseigenschaften werden nach folgenden Verfahren untersucht: Treibdruck und Schwindung nach Nedelmann[8]), Backfähigkeit nach Kattwinkel[9]), Blähgrad nach Lambris[10]). Für die Ausführung der Versuche sei auf die Literatur verwiesen.

Zahlentafel VIII.

Korngröße mm	Treibdruck kg/cm²		Schwindung %		Backfähigkeit		Blähgrad	
	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.
—4	0,12	—	6,02	—	220	—	10,2	—
4 —2	0,12	—	6,08	—	210	—	9,8	—
2 —1	0,10	—	5,82	—	187	—	10,5	—
1 —0,75	0,09	—	5,62	—	156	—	9,4	—
0,75 —0,5	0,05	—	5,04	—	127	—	9,3	—
0,5 —0,2	0,05	—	4,11	—	—	—	5,1	—
0,2 —0,102	0,03	—	2,98	—	—	—	2,7	—
0,102—0,088	—	—	—	—	—	—	1,2	—
—0,088	—	—	—	—	—	—	—	—
Gesamt	0,06	—	4,42	—	112	—	6,7	—

Um untereinander vergleichbare und reproduzierbare Werte zu erhalten, wurde für die jeweiligen Versuchsreihen unter gleichen Versuchsbedingungen gearbeitet. Das bezog sich vor allem auf die Korngröße der Kohle. Diese wurde mit — 0,102 mm angesetzt und alle Kornfraktionen auf diese Korngröße zerkleinert. Die primär vorhandenen niederen Korngrößen also — 0,102 mm ergaben bei der Tiegelverkokung einen gesinterten bzw. nicht mehr geflossenen Rückstand, so daß bei ihnen Verkokungswirkungen nicht auftreten können.

Die Bestimmung des Treibdruckes und der Schwindung wurde bei einer Korngröße der Kohle von 0,102 mm, einem Schüttgewicht von 850 kg/m³ und einem Wassergehalt von 10% vorgenommen. Zunächst war bei der Bestimmung des Treibdruckes die Feststellung zu machen, daß alle Korngrößen des Rohschlammes einen gebackenen Rückstand ergeben. Die beiden feinsten Korngrößen jedoch weisen im Gegensatz zu den andern einen wohl noch gebackenen, aber nicht mehr geflossenen Rückstand auf. Bei der Untersuchung der Proben auf ihre Backfähig-

[8]) Nedelmann, Br. Ch. 1931, S. 42.
[9]) Kattwinkel, G.W.F. 1926, S. 145; Glückauf 1926, S. 972.
[10]) Lambris, Br. Ch. 1932, S. 103.

keit zeigten die Korngrößen — 0,5 mm keine Backfähigkeit mehr. Dieser Widerspruch ist jedoch nur scheinbar. Zunächst wird bei der Bestimmung der Backfähigkeit ein inertes Mittel zugegeben, wodurch die Auswirkung der Bindefähigkeit der Kohleteilchen bzw. des Bitumens gestört wird. Bei der Bestimmung des Treibdruckes wird die Kohle zur Erzielung des hohen Schüttgewichtes von 850 kg/m³ gepreßt, was eine innigere Berührung der Kohleteilchen im Vergleich zur Lagerung bei der Backfähigkeitsbestimmung bedingt. Weiterhin wird letztere bei von vornherein vorhandener Verkokungstemperatur von 900° vorgenommen, während die Verkokung zur Bestimmung des Treibdruckes bei von Zimmertemperatur steigender Temperatur vorgenommen wird. Die Umsetzungen können also bei der letzteren viel langsamer und intensiver vor sich gehen als bei der schnellen Verkokung zur Bestimmung der Backfähigkeit.

Die Treibdrücke nehmen beim Rohschlamm mit zunehmender Kornfeinheit ab. Unterhalb 0,2 mm weisen die Korngrößen kein Treibvermögen mehr auf. Der Grund hierfür liegt im wechselnden stofflichen Aufbau der einzelnen Korngrößen. Der Träger des Treibvermögens ist die Glanzkohle. Die Abnahme des Treibdruckes ist also zunächst auf die immer stärker werdende Abnahme der Glanzkohle zurückzuführen. Darüber hinaus vermindern die an die Kohle adsorptiv gebundenen Tone und Letten, die sich mit abnehmender Korngröße anreichern, das Treiben. Die ermittelten Treibdrücke sind als gering anzusehen. Die Korngrößen des Flotationsschlammes und auch des Schlammes in seiner Gesamtheit weisen kein Treibvermögen auf, sondern ergaben gesinterte Rückstände. Der Grund hierfür liegt ausschließlich in dem hohen Faserkohlengehalt. Die Faserkohle nimmt an der Verkokung nicht teil, sondern übersteht unverändert die strukturelle Umwandlung der Kohle in Koks, wodurch eine Verkittung zu einem festen, geflossenen Rückstand unmöglich ist. Gefährlich wird der Treibdruck erst ab 0,4 kg/cm² bei langer Treibzeit, sodaß bei den niedrigen Treibdrücken des Rohschlammes und seiner Korngrößen eine Notwendigkeit, ihn günstiger zu gestalten, nicht vorlag; das Fehlen des Treibdruckes beim Flotationsschlamm beruht auf einem Mangel an Verkokungsfähigkeit. Bezüglich des Treibdruckes hat also durch die Flotation eine kokstechnische Verbesserung des Rohschlammes nicht stattgefunden.

Auch die Schwindung fällt beim Rohschlamm mit abnehmender Korngröße. Die Abnahme ist bei den groben Korngrößen zunächst gering, um dann ab Korngröße 0,75 mm stärker zu werden. Die Schwindung wird wesentlich vom Gehalt an Mattkohle beeinflußt, da diese die Schwindung begünstigt. Die schwache Abnahme des Schwindens bei den gröberen Korngrößen stimmt mit der geringen Abnahme der Mattkohle überein.

Unterhalb der Korngröße 0,102 mm ist keine Schwindung mehr vorhanden. Da die Abnahme der Mattkohle bei den Korngrößen — 0,102 mm in keinem Verhältnis zur Abnahme der Schwindung steht, ist der Grund für die hier auftretende starke Abnahme der Schwindung in der geringer werdenden Verkokungsfähigkeit dieser Korngrößen zu suchen. Alle Korngrößen des Flotationsschlammes zeigen keine Schwindung, da infolge ihres hohen Fusitgehaltes keine Koksbildung eintritt. Die Schwindung des Gesamtrohschlammes mit 4,04% ist normal und auch seine einzelnen Korngrößen zeigen keine wesentlichen Abweichungen. Eine Verbesserung durch Aufbereitung war also nicht notwendig, da auch andererseits jede Kohle bei der Verkokung eine Schwindung aufweisen muß. Eine kokstechnische Verbesserung des Rohschlammes durch die Flotation ist auch hier nicht eingetreten. Das Fehlen der Schwindung beim Flotationschlamm ist ganz eindeutig als Mangel zu werten.

Die ermittelten Backfähigkeitszahlen der Korngrößen bis 0,5 mm sind als solche einer mittelguten bis guten Kokskohle anzusprechen. Die Backfähigkeit sinkt mit zunehmender Kornfeinheit. Ab 0,5 mm weist der Rohschlamm keine Backfähigkeit mehr auf. Der Grund für die Abnahme liegt in der Veränderung des stofflichen Aufbaues der einzelnen Korngrößen. Der Träger des Backens, die Glanzkohle, nimmt ab, während die Faserkohle, die, da sie am Koksbildungsprozeß nicht teilnimmt und die Backfähigkeit verhindert, zunimmt. Es muß also eine Abnahme der Backfähigkeit eintreten. Der Zusammenhang zwischen Backfähigkeit und stofflicher Zusammensetzung ist nach eigenen Untersuchungen ganz eindeutig. Bei Besprechung der Versuchsergebnisse über das Treiben ist schon festgestellt worden, daß alle Korngrößen + 0,102 mm einen geflossenen Rückstand ergaben. Es war also das stoffliche Verhältnis bis zu dieser Korngröße so, daß alle diese Korngrößen auch bei der Backfähigkeitsbestimmung eine Backfähigkeitszahl hätten aufweisen müssen. Eine wesentliche Veränderung der stofflichen Zusammensetzung auch dieser Korngrößen im Vergleich zu der bei 0,5 mm liegt nicht vor. Trotzdem zeigen nur die Korngrößen + 0,5 mm eine Backfähigkeitszahl. Der Grund für das Fehlen der Backfähigkeit liegt jedoch nicht in irrtümlichen Feststellungen, entweder bei der Treibdruckbestimmung oder bei der Ermittlung der Backfähigkeit sondern an der Art des Bestimmungsverfahrens des letzteren, worauf schon hingewiesen ist. Der Flotationsschlamm und seine Korngrößen weisen keine Backfähigkeitszahl auf. Sie ergaben auch bei der Bestimmung des Treibdruckes einen vollkommen gesinterten Rückstand. Hier liegt das Fehlen der Backfähigkeit ganz eindeutig an dem hohen Anteil des Flotationsschlammes an Faserkohle, deren Anteil in jedem Falle höher ist als bei den Korngrößen + 0,102 mm des Rohschlammes. Der

Rohschlamm und seine einzelnen Korngrößen, die eine durchaus zufriedenstellende Backfähigkeit aufweisen, haben infolge der Flotation jegliches Backvermögen verloren. Dabei hat sich der Einfluß der Asche im Vergleich zur stofflichen Zusammensetzung als relativ schadlos herausgestellt. Die beim Rohschlamm für die einzelnen Korngrößen und den Gesamtschlamm ermittelten Blähgrade sind nach den Ergebnissen der Literatur als mittelmäßig anzusprechen. Als Träger des Blähens ist die Glanzkohle anzusehen, während man der Mattkohle eine drückende Wirkung zuerkennt. Die Faserkohle ist, wie die Berge, da sie kein Verkokungsvermögen besitzt, mindestens als inerter Bestandteil anzusehen. Diese Abhängigkeiten zeigen auch die ermittelten Blähgrade. Die abnehmenden Werte des Blähgrades folgen den abnehmenden Werten der Glanzkohle. Eine Einwirkung durch Mattkohle kann nicht eintreten, da diese sich in ihrem prozentualen Anteil am stofflichen Aufbau nicht wesentlich ändert. Das Gleiche gilt auch für die Faserkohle bis zur Korngröße 0,102 mm. Ab dieser Korngröße wird jedoch die Zunahme an Faserkohle so stark, daß sich ihr Einfluß in einem starken Verlust der Backfähigkeit ausgewirkt hat, wodurch natürlich auch kein Blähen mehr erfolgen kann. Die Korngrößen des Flotationsschlammes weisen keinen Blähgrad auf. Dieses ist durch den hohen Anteil an Faserkohle bedingt, der den stofflichen Aufbau derart beeinflußt, daß eine Verkokungsfähigkeit nicht mehr besteht. Auch hier zeigt sich, daß der Aschengehalt von untergeordneter Bedeutung ist im Vergleich zur stofflichen Zusammensetzung. Die Flotation hat sich bezüglich des Blähens eindeutig verschlechternd ausgewirkt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Flotation nicht nur in keinem Fall eine Verbesserung der kokstechnischen Eigenschaften erzielt hat, sondern daß der Rohschlamm ganz eindeutig in seinem kokstechnischen Wert verschlechtert worden ist.

Es ist bei der Besprechung der Versuchsergebnisse über die verkokungstechnischen Eigenschaften immer wieder darauf hingewiesen worden, daß die jeweilige Änderung in der Art und Größe der Verkokungsfähigkeit auf den stofflichen Aufbau der Kohle zurückgeführt werden muß. Es erübrigt sich, hier auf den Verkokungsprozeß und den Einfluß und die Bedeutung der Gefügebestandteile im Zusammenwirken mit Bitumen und Restkohle auf die Koksbildung näher einzugehen, da hierfür eine umfangreiche Literatur vorhanden ist.

Wenn man von der Zielsetzung der Aufbereitung ausgeht, also der Verwendung des Aufbereitungsproduktes als Kokskohle, dann ist die Folgerung, die aus den Versuchsergebnissen im Zusammenhang mit der theoretischen Erkenntnis der Koksbildung gezogen werden muß, die, daß die Aufbereitung ihr Ziel nur dann erreicht, wenn sie mit Einschluß der Drückung von Asche und

Bergen und des Schwefels eine Beeinflussung der Gefügebestandteile bei weitgehender Drückung der Faserkohle erzielt. Nur unter diesen Voraussetzungen kann von einem Aufbereitungserfolg gesprochen werden. Es tritt bei der bearbeiteten Flotation ganz klar in Erscheinung, daß zwischen der Bewertung einer Flotation im Sinne der Aufbereitung an sich und einer solchen im Sinne der Kokstechnik ein grundlegender Unterschied besteht. Die Drückung des Aschen- und Schwefelgehaltes bedeutet vom Standpunkt der reinen Aufbereitung unbedingt eine Wertsteigerung. Dieser Wertsteigerung steht aber eine erheblich größere Wertverminderung in kokstechnischer Hinsicht gegenüber. Die hier zu Grunde liegende Flotation hat durch ihre mangelnde stoffliche Wirksamkeit jegliche Verkokungsfähigkeit des aufbereiteten Schlammes trotz niederem Aschen- und Pyritgehalt vernichtet. Der für die Verkokung durchaus nutzbare Rohschlamm wird durch die Flotation zu einem mindestens inerten, bei höhem Zusatz zur Feinkohle gegebenenfalls schädlichen Zusatzmittel aufbereitet. Der Aufbereitungserfolg und die Wertermittlung kann deshalb auch nicht einseitig nach Aschengehalt und Ausbringen erfolgen, sondern beides muß, da der Aschengehalt verhältnismäßig zurücktritt, nach dem Gesichtspunkt der Verkokung erfolgen. Der Wirkungsgrad muß auf stofflicher Grundlage aufgebaut werden, da die stoffliche Zusammensetzung der Kohle von grundlegender Bedeutung für sämtliche Verkokungseigenschaften ist. Aus der Erkenntnis, daß die Glanzkohle allein als Träger der Verkokung und die Faserkohle als absolut verkokungshindernd anzusehen ist, kann weniger der zahlenmäßige Wert der Glanzkohle bestimmend für den Wirkungsgrad der Flotation sein, sondern das Verhältnis Glanzkohle zu Faserkohle, wie es Kühlwein[11]) vorgeschlagen hat. Dabei werden Mattkohle und Asche als inerte Bestandteile angesehen. Zahlentafel IX zeigt die Verhältniszahlen für Glanz- und Faserkohle beider Schlämme.

Zahlentafel IX.

Korngröße	Rohschlamm		Verhältnis	Flotationsschlamm		Verhältnis
mm	Glanzk.	Faserk.		Glanzk.	Faserk.	
Gesamt	61,7	11,4	1:0,168	56	25,2	1:0,450
0,75 —0,5	66	9	1:0,136	65,7	16,5	1:0,251
0,5 —0,2	66,6	8,2	1:0,123	65,1	19,3	1:0,296
0,2 —0,102	63,6	8,8	1:0,138	64,8	20,3	1:0,313
0,102—0,088	55,9	13,4	1:0,240	57,4	27,3	1:0,476
—0,088	48,3	21,3	1:0,440	44,9	37,9	1:0,844

Nach den Untersuchungen von Kühlwein[11]) ist als Grenzwert des stofflichen Verhältnisses für die Verkokungseignung an-

[11]) Kühlwein, Glückauf 1928, S. 363.

zusetzen 1 : 0,2 nach Kattwinkel[12]) ein solcher von 1 : 0,25. Bei dem Vergleich der Verhältniszahlen für Rohschlamm ergibt sich, daß bei zur Korngröße 0,088 mm der Grenzwert eingehalten ist. Die Verhältniszahlen für die Siebfraktionen des Flotationsschlammes liegen alle z. T. wesentlich über dem Grenzwert. Diese Bewertungsart stimmt mit der Tiegel- und Treibdruckverkokung einwandfrei überein. Das überaus günstige Bild beim Rohschlamm muß allerdings beeinträchtigt werden durch den um ca. 50% höheren Aschengehalt. Kokstechnisch ist dieser erhöhte Aschengehalt aber keineswegs in gleich hohem Maße anzusetzen wie der hohe Fusitgehalt beim Flotationsschlamm. Denn bei den Tiegel- und Treibdruckverkokungen weisen die einzelnen Kornfraktionen des Rohschlammes mit Ausnahme der — 0,102 mm einen geflossenen Koks auf, was bei allen Fraktionen des Flotationsschlammes trotz niederen Aschengehaltes nicht der Fall ist.

Die hier gemachte Erfahrung, nämlich die Feststellung von der mangelnden stofflichen Wirksamkeit der Flotation ist keineswegs vereinzelt. Im Schrifttum finden sich Ergebnisse mit ähnlichem Mißerfolg. Nach Hoffmann[13]) hat bei einer Flotation des Saargebietes eine Fusitanreicherung von 25% stattgefunden. Bräuer[14]) stellt in einer niedersächsischen Anlage eine solche von 30% fest. Für eine niederschlesische Flotation gibt Kühlwein[15]) eine prozentuale Steigerung um 36% des Fusitgehaltes im Konzentrat an. Ferner berichtet Kühlwein[16]) über Flotationsversuche mit Ruhrkohlenschlämmen und niederschlesischem Schlamm, bei denen die Fusitgehalte von Aufgabe und Konzentrat gleich sind; ein Yorkshire-Staub ergab eine 50%ige Fusitsteigerung auf Kosten von Clarit und Durit. In einer neueren Arbeit weist Kühlwein[17]) wiederum auf die mangelnde Wirkung der Flotation hin. Die von Bräuer[14]) berichteten Verbesserungen von Koks durch Zusatz flotierter Kohle ist wohl mehr eine Wirkung der für die Verkokung günstigen Änderung der Korngrößenverteilung, als eine Wirkung der Flotation. Einen Hinweis für die Möglichkeit eine stoffliche und damit kokstechnische Verbesserung von Schlämmen durch die Flotation erzielen zu können, geben Untersuchungen von Kühlwein[15]). Er stellt die Ergebnisse zweier Flotationen mit verschiedenem stofflichen Aufbau der Rohschlämme gegenüber. In ihrem aufbereitungstechnischen Erfolg bezüglich Aschengehalt und Ausbringen sind sie als gleichwertig anzusehen, aber in ihrem stoff-

---

[12]) Kattwinkel, Glückauf 1928, S. 79.
[13]) Hoffmann, Glückauf 1928, S. 1237.
[14]) Bräuer, Glückauf 1931, S. 657.
[15]) Kühlwein, Glückauf 1929, S. 363.
[16]) Kühlwein, Glückauf 1934, S. 254.
[17]) Kühlwein, Glückauf 1936, S. 465.

lichen Ergebnis sehr unterschiedlich. Aus seinen Untersuchungen muß man den Schluß ziehen, daß die Flotation gerade bezüglich des Fusits nur eine Wertsteigerung ergeben kann, wenn der Fusitgehalt von vornherein niedrig ist, weil eben der Fusit zu einem großen Teil von selbst aufschwimmt und bei hohem Fusitgehalt eine wesentliche Drückung und somit ein kokstechnischer Erfolg nicht eintritt. Die Frage nun, wann überhaupt eine stoffliche Aufbereitung des Schlammes notwendig ist, läßt sich dahin beantworten, daß diese Notwendigkeit bei einem Fusitgehalt von über 15% gegeben ist. Nach Kattwinkel[18]) und Kühlwein[19]) liegt die Grenze bei 20 bzw. 15%. Der unter Berücksichtigung der Asche angegebene Wert von 15% ist aus den vorliegenden Versuchsergebnissen geschlossen. Rohschlamm mit 13,4% Faserkohle bei 30,09% Asche gibt noch einen gebackenen Koks, Flotationsschlamm mit 16,5% Faserkohle erzielt bei 13,18% Asche einen gesinterten Rückstand. Ob ein wesentlicher Erfolg bei mehr als 15% Faserkohle erzielt werden kann, erscheint zweifelhaft, was auch Gross[20]) und Czermack[21]) offen lassen.

Der einfachen Flotation gegenüber stände immer noch die Möglichkeit offen, durch selektive Flotation eine stoffliche Wertsteigerung zu erzielen. Untersuchungen von Kühlwein[22]) in dieser Hinsicht lassen aber auch wieder erkennen, daß auch hier gerade bei hohem Fusitgehalt in der Aufgabe eine wesentliche Wertsteigerung nicht zu erreichen ist. Ob die Versuche von Bierbrauer und Pöpperle[23]) der stofflichen Verbesserung näher kommen, ist wohl noch nicht zu sagen.

Wenn, was nicht bestritten werden soll, eine stoffliche Wertsteigerung durch die Flotation hier und da erzielt worden ist, so ist das aber weniger eine Wirkung der Flotation an sich, sondern in höherem Maße durch günstige Verhältnisse im Aufgabegut bedingt (Petrographie und Struktur der Gefügebestandteile, Korngrößenverteilung). Wenn der Faserkohlenanteil unter der maximalen Zulässigkeitsgrenze liegt, kann eine Flotation unterbleiben. Erscheint der Aschengehalt für den Zusatz zur Kokskohle zu hoch, so ist der Schlamm durch eine Vibrationssiebaufbereitung gegebenenfalls leichter und wirtschaftlicher aufzubereiten, worauf Untersuchungen von Kühlwein[24]) deutlich hinweisen.

Nach all diesem ist die Frage der Verkokungsmöglichkeit von unaufbereitetem Rohschlamm bei einer bestimmten stoffli-

---

[18]) Kattwinkel, Glückauf 1928, S. 79.
[19]) Kühlwein, Glückauf 1928, S. 363.
[20]) Groß, Ztschr. Oberschl. Ver. 1929, S. 79.
[21]) Czermak, B. u. H. Jahrb. Leoben, 1925, S. 23.
[22]) Kühlwein, Glückauf 1934, S. 245.
[23]) Bierbrauer und Pöpperle, Glückauf 1934, S. 933.

chen Zusammensetzung als Zusatz zur Kokskohle durchaus offen. Es wäre nunmehr zu prüfen, wie sich ein Zusatz des Rohschlammes und des Flotationsschlammes auf die Verkokungseigenschaften der Feinkohle auswirkt. Es wurden der Feinkohle je 5, 10, 15 und 20% Roh- bezw. Flotationsschlamm zugesetzt. Bei den meisten Aufbereitungen schwankt der tatsächliche Schlammzusatz zwischen 8 und 12% der Gesamtkokskohle. Die Kohlenmischungen wurde alle untersucht auf: Korngrößenverteilung, Aschengehalt, Koksausbeute, Schwefelgehalt, stoffliche Zusammensetzung, Treibdruck, Backfähigkeit, Blähgrad, Erweichungs- und Entgasungsverlauf.

Die Korngrößenverteilung der Mischkohlen zeigt Zahlentafel X.

Zahlentafel X.

Korngröße mm	Feinkohle %	5% Zusatz %		10% Zusatz %	15% Zusatz %		20% Zusatz %	
		Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.
— 10	0,57	0,35	—	0,56	—	—	—	—
10 — 8	3,11	2,61	1,11	3,50	1,59	1,18	0,43	0,50	1,32
8 — 6	6,86	6,93	6,40	6,13	5,10	4,77	4,82	2,83	3,03
6 — 4	13,11	14,11	10,88	11,71	10,95	9,15	9,55	6,78	7,41
4 — 3	10,67	10,04	11,11	7,14	9,46	8,29	6,87	7,78	6,03
3 — 2	12,08	11,89	14,55	13,10	13,62	13,48	11,28	11,49	10,26
2 — 1	20,58	18,95	20,16	18,87	22,28	22,63	18,50	22,15	20,60
1 — 0,75	7,40	7,74	7,17	6,72	6,90	7,80	8,80	9,27	9,84
0,75-0,5	9,98	9,97	9,17	9,91	10,07	11,40	10,33	12,87	13,56
0,5 -0,2	9,23	8,18	10,66	12,31	10,84	11,43	14,95	13,84	13,70
— 0,2	6,28	8,63	8,77	10,30	9,12	9,90	14,73	12,53	14,21
— 2	53,45	53,37	55,93	58,11	59,21	63,16	67,31	70,66	71,91
— 1	32,89	34,42	35,77	39,24	36,39	40,53	48,81	48,51	51,31

Die Einwirkung der feinen Korngröße der Zusätze tritt deutlich in Erscheinung. Der Anteil an Korn — 2 mm steigt von 53,45% für Feinkohle auf 70,66% bezw. 71,91% bei 20% Rohschlamm- bezw. Flotationsschlammzusatz. Für den Anteil — 1 mm betragen die Werte 32,89%, 48,51% bezw. 51,31%. Der Zusatz von Flotationsschlamm hat sich naturgemäß in Richtung einer stärkeren Kornfeinheit ausgewirkt, da der Flotationsschlamm in einer Korngröße — 0,75 mm, während der Rohschlamm mit 4—0 mm bei einem Kornanteil + 0,75 mm = 33,08% zugesetzt wurde. Da Koksdichte und -festigkeit unter sonst gleichen Bedingungen von der Kornfeinheit begünstigt werden, muß sich diese bei steigendem Zusatz in vorteilhafter Form auswirken. Hierbei schneidet die Flotationsschlammischkohle etwas besser ab. Doch sind die Unterschiede gegen die jeweilige Rohschlammischung nicht wesentlich.

Der Einfluß der hochaschehaltigen Zusätze auf den Aschengehalt — Zahlentafel XI — der Mischkohlen zeigt sich deutlich und wirkt sich bei Rohschlammzusatz stärker aus als bei Flotationsschlammzusatz, da dieser einen um 45% niedrigeren

Zahlentafel XI.

	Asche	Berge	Schwefel	Pyrit	fl. Bstdt.	Glanzkohle	Mattkohle	Faserkohle
	%	%	%	%	%	%	%	%
Rohschlamm	20,04	10,0	2,73	1,9	23,36	63,0	12,4	12,9
Flotationsschl.	12,51	6,0	1,81	1,7	22,96	56,0	9,8	25,2
Feinkohle	5,01	2,5	1,14	0,9	23,94	73,9	16,0	6,7
Feink. + 5% Roh.Schl.	5,68	2,8	1,28	1,0	23,37	72,0	17,0	7,2
„ +10% „	6,70	3,3	1,31	1,0	23,30	70,3	17,7	8,7
„ +15% „	7,16	2,9	1,42	1,2	23,51	69,5	17,4	9,0
„ +20% „	7,48	3,5	1,55	1,3	23,36	69,3	16,5	9,4
„ + 5% Flot.Schl.	5,16	2,7	1,19	0,9	24,00	71,5	16,5	8,4
„ +10% „	5,72	2,8	1,22	0,9	22,88	69,5	16,8	10,0
„ +15% „	6,06	2,9	1,31	1,0	23,37	68,8	16,7	10,6
„ +20% „	6,46	3,0	1,35	1,3	22,99	67,9	16,4	11,4

Aschengehalt einbringt. Bei einer Zusatzmenge von — 10% Rohschlamm erreicht der Aschengehalt eine Höhe, die kaum noch den Höchstaschengehalt für Koks von 9% gewährleistet. Bei Zusatz auch von 20% Flotationsschlamm treten derartige Schwierigkeiten nicht auf. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß der Aschengehalt der Feinkohle mit 5,1% schon als reichlich hoch anzusehen ist; ein schärferes Waschen auf 4—4,5% erscheint als durchaus möglich. Hierdurch wären alle Schwierigkeiten in der Einhaltung des Aschengehaltes behoben. Ist dies jedoch nicht möglich, so muß bei einem Zusatz über 10% eine Aufbereitung des Rohschlammes erfolgen. Diese wäre nur soweit vorzunehmen, daß unter der Voraussetzung eines Fusitgehaltes von 15—20% im Schlamm der Aschengehalt soweit zu drücken ist, daß der Zusatz möglich wird. Eine stoffliche Aufbereitung oder eine solche durch Flotation würde dann wohl kaum in Frage kommen.

Wie beim Aschengehalt wirkt sich auch beim Schwefelgehalt (Zahlentafel XI) der Zusatz der Schlämme auf den Schwefelgehalt der Mischkohlen unangenehm aus und zwar naturgemäß bei Rohschlammzusatz stärker als bei Flotationsschlammzusatz. Auch der Pyritgehalt läßt eine Zunahme bei steigender Zusatzmenge erkennen, wobei aber der Unterschied zwischen Roh- und Flotationsschlammzusatz nicht so stark in Erscheinung tritt. Der Schwefelgehalt der Feinkohle ist bereits sehr hoch, sodaß die Höchstgrenze im Schwefelgehalt für Gießereikoks = 1% nicht eingehalten werden kann. Bei Rohschlammzusatz nähert sich der Schwefelgehalt der Feinkohle sehr dem Maximalgehalt für Hochofenkoks. Bei Flotationsschlammzusatz

ist diese Grenze leichter einzuhalten. So ist im Zusammenhang mit dem Aschengehalt bei höherem Rohschlammzusatz eine Aufbereitung nötig. In der Mehrzahl der Fälle wird eine Aufbereitung des Fettkohlenschlammes nicht nötig sein, es hätte nur eine Aufbereitung des Gaskohlenschlammes zu erfolgen. Diese kann nach den neuesten Erfahrungen[25]) auf Vibrationssieben mit 0,1 mm Gewebesiebbespannung vorgenommen werden. Durch die Aushaltung dieses Gaskohlenfeinkornes, der Letten und Tone und des feinkörnigen Pyrits wird ein hinreichender Aschen- und Schwefelgehalt für den Gesamtschlamm zu erreichen sein.

Die Menge der flüchtigen Bestandteile der Mischkohlen (Zahlentafel XI) ist durch den verschiedenen Zusatz der Schlämme zur Feinkohle kaum beeinflußt worden und liegt in normalen Grenzen.

Der Einfluß der Schlammzusätze auf den stofflichen Aufbau der Mischkohle (Zahlentafel XI) wirkt sich mit steigernder Zusatzmenge deutlich aus. Der Glanzkohlengehalt fällt, der der Faserkohle steigt. Diese Wirkung ist bei Flotationsschlammzusatz stärker als bei Rohschlammzusatz. Wenn man die Kohlen nach ihrer stofflichen Zusammensetzung bewertet, so ist zunächst festzustellen, daß die Feinkohle eine hervorragende Kokskohle darstellt. Aber auch die Mischkohlen weisen selbst bei 20% igem Zusatz eine einwandfreie Verkokungsmöglichkeit auf, wobei die Rohschlammischkohlen günstiger liegen als die Flotationsschlammischkohlen. Bei beiden Zusatzarten wird der Faserkohlmaximalgehalt von 15—20% weit unterschritten. Auch die Bewertung der Kohlen auf der Grundlage des Verhältnisses Glanzkohle zu Faserkohle (Zahlentafel XII) läßt eine gute, teilweise hervorragende Verkokungsfähigkeit erkennen. Hierbei liegen die Kohlen mit Rohschlammzusatz wiederum günstiger.

Zahlentafel XII.

			Verhältniszahl
Feinkohle			1 : 0,091
„	+ 5%	Roh.Schl.	1 : 0,100
„	+10%	„	1 : 0,123
„	+15%	„	1 : 0,129
„	+20%	„	1 : 0,135
„	+ 5%	Flot.Schl.	1 : 0,117
„	+10%	„	1 : 0,144
„	+15%	„	1 : 0,154
„	+20%	„	1 : 0,168

In Zahlentafel XIII sind die Versuchsergebnisse über Treibdruck-Schwindung, Backfähigkeit und Blähgrad zusammengestellt.

---

[25]) Kühlwein, Glückauf 1936, S. 465.

Zahlentafel XIII.

			Treibdruck kg/cm²	Schwindung %	Backfähigkeit	Blähgrad
Rohschlamm			0,06	4,42	112	6,7
Flotationsschlamm			—	—	—	—
Feinkohle			0,41	9,90	288	19,21
„	+ 5%	Roh.Schl.	0,28	5,00	273	18,18
„	+10%	„	0,24	3,75	269	18,24
„	+15%	„	0,22	4,04	261	15,92
„	+20%	„	0,26	4,97	259	11,93
„	+ 5%	Flot.Schl.	0,32	6,83	270	16,30
„	+10%	„	0,30	3,36	265	13,42
„	+15%	„	0,14	6,81	261	11,04
„	+20%	„	0,12	9,01	257	7,02

Die Einwirkung der Zusätze auf den Treibdruck der Mischkohlen ist deutlich zu erkennen, was zweifellos im stofflichen Aufbau der Kohlen begründet liegt. Die Abnahme des Treibdruckes bei Flotationsschlammzusatz ist stärker als bei Zusatz von Rohschlamm. Das dürfte außer auf die Verschiebung der Anteile von Glanz- und Faserkohle auch auf die feinere Korngröße der Flotationsschlammischkohle zurückzuführen sein. Zur Bewertung der Kohlen ist zu sagen, daß der Treibdruck der Feinkohle als hoch wenn auch noch nicht als schädlich für die Verkokung anzusehen ist. Die Verringerung des Treibdruckes durch die Zusätze bedeutet an und für sich eine gewisse Verbesserung. Die Annahme, daß diese Wirkung bei Flotationsschlammzusatz besser sei, trifft jedoch nicht zu, da ein zu geringer Treibdruck wiederum sich auf die Beschaffenheit des Kokses nachteilig auswirkt. Der Zusatz von Rohschlamm ist also durchaus möglich, ja sogar zweckmäßig.

Durch die Zusätze der beiden Schlämme tritt ein sehr bemerkenswerter Einfluß auf die Schwindung ein. In beiden Fällen tritt bis 10% Zusatzmenge eine Abnahme und bei höherem Zusatz wiederum eine Zunahme der Schwindung ein. Diese Erscheinung ist beim Zusatz von Flotationsschlamm stärker ausgeprägt als bei Zusatz von Rohschlamm. Dieses Verhalten ist aus dem Wechsel des stofflichen Aufbaues allein nicht zu erklären. Man muß hier den Wechsel in der Nachentgasung (siehe Zahlentafel XIV) der einzelnen Mischkohlen mit heranziehen, die zunächst ab- und dann zunimmt, zur Rißbildung führt und damit vor allem bei Flotationsschlammzusatz die Zunahme der Schwindung fördert.

Zahlentafel XIV.

	Feinkohle	5% Zusatz		10% Zusatz		15% Zusatz		20% Zusatz	
		Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.	Roh. Schl.	Flot. Schl.
fl. Bestandteile %	23,55	22,31	24,12	23,55	23,55	22,90	24,15	23,48	23,61
Z °C*)	358	359	367	350	370	379	380	386	380
E °C	384	388	399	384	400	390	391	402	394
B °C	412	402	416	426	416	407	414	414	407
W °C	438	438	434	434	437	429	420	434	420
Verteilung der fl. Bestandteile nach den Kennpunkten der Entgasung:									
unter Z %	14,08	14,96	15,40	12,95	14,26	22,13	16,73	18,46	13,44
Z—E %	7,79	10,43	13,47	9,17	7,25	9,21	2,98	6,96	4,42
E—B %	7,05	6,41	5,57	8,19	10,27	7,50	8,28	8,67	8,45
B—W %	7,34	7,37	14,16	9,42	8,41	4,31	5,22	5,99	5,01
W—H %	25,69	28,34	22,46	26,13	13,01	23,71	22,32	24,61	20,48
H—K %	38,05	36,49	28,98	34,14	36,80	33,14	44,47	35,29	48,20
Vorentgasung %	21,87	25,39	28,87	20,12	21,51	31,34	19,71	25,24	17,86
Hauptentgasung %	40,88	42,12	42,19	43,74	41,69	35,52	35,82	38,27	33,74
Nachentgasung %	38,05	36,49	28,94	34,14	36,80	33,14	44,47	35,29	48,20

Zur Bewertung der Ergebnisse ist zu sagen, daß der Zusatz von Rohschlamm sich in durchaus günstiger Form ausgewirkt hat, indem er das verhältnismäßig hohe Maß der Schwindung der Feinkohle auf eine normale Höhe reduziert hat, die für alle Zusatzmengen annähernd gleich ist. Beim Flotationsschlamm ist bei Zusatz über 10% die günstige Wirkung wieder aufgehoben, da die Schwindung sich der hohen Schwindung der Feinkohle wieder nähert.

Die Backfähigkeit der Mischkohlen zeigt eine deutliche Wirkung je nach Art und Menge der Zusätze. Mit zunehmender Zusatzmenge nimmt die Backtätigkeit stetig ab und zwar bei Flotationsschlammzusatz stärker als bei Zusatz von Rohschlamm. Der Grund liegt in der stofflichen Verschiedenheit der Mischkohlen. Die Backfähigkeitszahlen deuten auf gute Kokskohlen. Die Ueberlegenheit der Rohschlammischkohlen ist praktisch nicht sehr wesentlich. Deutlich zu erkennen ist, wie wenig ein höherer Aschengehalt auf die Backfähigkeit einwirkt. Denn trotz höheren Aschengehaltes der Rohschlammischkohlen zeigen diese eine bessere Backfähigkeit als die aschenärmeren Flotationsschlammischkohlen. Eine wesentliche Beeinträchtigung der Güte der Feinkohle durch Zusatz von Rohschlamm liegt nicht vor, ein Zusatz von 20% bedingt lediglich eine Abnahme der Backfähigkeit um 10%.

*) Z=Zersetzungspunkt — E=Erweichungspunkt — B=Blähpunkt — W=Wiederverfestigungspunkt — H%Halbkokspunkt — K=Kokspunkt.

Die Befunde der Blähgrade der einzelnen Kohlenmischungen zeigen mit steigendem Zusatz an Roh- und Flotationsschlamm abnehmende Werte und zwar wirkt sich auch hier der Zusatz von Flotationsschlamm stärker aus als der von Rohschlamm. Außer dem Wechsel der Gefügebestandteile dürfte sich auch der Einfluß feinverteilter Asche, hochdispersen Lettentones bemerkbar machen, was bei Flotationsschlammzusatz infolge erhöhter Einbringung feinen und feinsten Kornes stärker in Erscheinung tritt. Auch für den Blähgrad liegen die Ergebnisse für Rohschlammzusatz durchaus günstig und beeinflussen die Güte der Feinkohlen bei bis zu 15% igem Zusatz nicht wesentlich.

Die Bestimmung des Erweichungs- und Entgasungsverlaufs ist nach der Methode von Kattwinkel[26]) durchgeführt und die Ergebnisse sind in Zahlentafel XIV zusammengestellt. Was die Kennpunkte der Erweichung angeht, kann man sagen, daß sie alle eine gute Verkokbarkeit der Kohlen erkennen lassen. Die plastische Zone, also die Temperaturspanne zwischen Erweichungs- und Wiederverfestigungspunkt, nimmt mit steigender Zusatzmenge ab und zwar bei Zusatz von Flotationsschlamm wesentlich stärker als bei Rohschlammzusatz. Die Werte für den Entgasungsverlauf verhalten sich recht unterschiedlich, wobei die Werte für Rohschlammischkohle wiederum günstiger liegen als die der Flotationsschlammischkohlen. Die schwankende Vorentgasung ist bei allen Kohlen nicht von wesentlicher Bedeutung, tung, da man eine Zersetzung des Bitumens wegen der für alle Kohlen guten Backfähigkeit nicht annehmen kann. Die Werte für die Hauptentgasung schwanken weniger stark und liegen bei beiden Zusatzarten im Vergleich zur Feinkohle in einer günstigen Größenordnung. Auch hier liegen die Rohschlammischkohlen günstiger als die Flotationszusatzkohlen, ja bis 10% Zusatz besser, als die Werte für die Feinkohlen. Sehr deutlich und kennzeichnend sind die Werte für die Nachentgasung, die für die Ausbildung des Kokses sehr wichtig sind. Die Nachentgasung ist bei allen Zusatzmengen von Rohschlammischkohlen niedriger als bei Feinkohle und mit Ausnahme des 5% igen Zusatzes auch niedriger als bei Zusatz von Flotationsschlamm, die vor allem bei mehr als 10% Zusatz erheblich über dem Wert für Feinkohle liegt. Diese Unterschiede müssen je nach der Stärke der Nachentgasung ihren Ausdruck in einer größeren Rissigkeit und damit Kleinstückigkeit des ausgebrachten Kokses finden. Es dürfte nach den Ergebnissen des Entgasungsverlaufs eine starke Rissigkeit des Kokses aus Flotationsschlammischkohle zu erwarten sein, und der Koks aus Rohschlammischkohle möglicherweise stückiger sein als der Koks aus Feinkohle.

---

[26]) Kattwinkel, Br. Ch. 1930, S. 481.

Wenn man die Untersuchungsergebnisse der Verkokungseigenschaften zusammenfaßt, ist ganz eindeutig festzustellen, daß mit Ausnahme von Asche und Schwefel der Zusatz von Rohschlamm sich teilweise erheblich günstiger auswirkt als der von Flotationsschlamm. Die Schwierigkeiten im Aschen- und Schwefelgehalt zu beheben, erscheint nicht groß. Auch im Vergleich zur Feinkohle ist eine wesentliche Beeinflussung der Güte der Kohle durch Zusatz von Rohschlamm nicht festzustellen, selbst bei 20% igem Zusatz ist noch eine gute Verkokungsmöglichkeit gewahrt. Darüber hinaus muß sogar gesagt werden, daß sich teilweise der Zusatz von Rohschlamm zur Feinkohle als günstig für die Verkokung herausgestellt hat. Diese richtunggebenden Untersuchungen über die Verschiedenheit der Verkokungsgüte der einzelnen Mischkohlen müssen ihre Bestätigung bei der Untersuchung der aus diesen Mischkohlen ausgebrachten Kokse finden. Zu diesem Zweck wurden die Mischungen in Art der Kistenverkokung verkokt und der ausgebrachte Koks untersucht auf: Aussehen und äußere Beschaffenheit, Aschengehalt, Schwefelgehalt, Abriebfestigkeit, Porösität, Aschenschmelzpunkt und Heizwert.

Es wurden jedesmal 81 kg Trockenkohle bei einem Wassergehalt von 10—11% und einem Schüttgewicht von 750 kg/m³ in einem normalgehenden Ofen bei 1150—1205° und 20 Stunden Garungszeit verkokt.

Die äußere Beschaffenheit des aus den verschiedenen Mischkohlen ausgebrachten Kokses war nicht unwesentlich verschieden. Der Koks aus Flotationsschlammischkohle fiel besonders bei 15 und 20% Zusatz erheblich kleinstückiger an als der Rohschlammischkoks. Dies ist auf die starke Rissigkeit, besonders Querrissigkeit, hervorgerufen durch hohe Nachentgasung, zurückzuführen. Auch der Koks aus Feinkohle wies eine geringere Stückigkeit auf, als der Koks mit Rohschlammzusatz. Dieser zeigte durchweg eine bessere Ausbildung als alle anderen, vor allem die mit 15 und 20% Rohschlammzusatz, die nur eine sehr geringe Rissigkeit aufweisen. Diese fielen auch in grobstückigwürfeliger Form an, während die anderen Kokse, besonders die aus Feinkohle und Flotationsschlammischkohle, die weniger vorteilhafte stengelige Form hatten. Die ausgebrachten Kokse machen einen dichten, festen Eindruck, sie sind klinghart, von silbrig-heller Farbe. Durch den Zusatz von Rohschlamm ist die äußere Beschaffenheit, vor allem Stückigkeit, eindeutig verbessert worden, während der Zusatz von Flotationsschlamm eine klare Verschlechterung im Vergleich zur Feinkohle mit sich gebracht hat.

Die Aschengehalte der einzelnen Kokse zeigt Zahlentafel XV. Der Aschengehalt ist naturgemäß bei Rohschlammzu-

satz höher als bei Zusatz von Flotationsschlamm und erreicht bei 20% Zusatz 9,68% bezw. 8,39% bei Flotationsschlammzusatz.

	Asche	Schwefel	Abrieb-festigkeit	Aschen-schmelz-punkt	Heizwert Ho Koks	Heizwert Ho Reinkoks
	%	%	%	°C	kcal/kg	kcal/kg
Feinkohle	6,84	1,04	86,00	1263	7440	7949
„ + 5% R.S.	7,36	1,16	87,86	1287	7399	7935
„ +10% „	8,09	1,20	88,45	1298	7352	7947
„ +15% „	8,81	1,19	88,96	1317	7297	7941
„ +20% „	9,68	1,26	89,66	1334	7239	7950
„ + 5% Fl.S.	7,11	1,05	88,00	1274	7410	7938
„ +10% „	7,65	1,06	89,04	1280	7390	7955
„ +15% „	7,99	1,15	90,60	1296	7360	7948
„ +20% „	8,39	1,19	90,30	1300	7321	7935

Bis 10% Zusatz Rohschlamm wird noch der Maximalaschengehalt für Gießereikoks eingehalten, was bei höherem Zusatz durch die bei der Besprechung des Aschengehaltes der Mischkohlen angeführte Aufbereitung des Schlammes in Verbindung mit einem niederen Aschengehalt der Feinkohle ermöglicht wird. Auch beim Schwefelgehalt (Zahlentafel XV) liegen die Werte für den Koks aus Flotationsschlammischkohle günstiger als bei Koks mit Rohschlammzusatz. Der Maximalgehalt an Schwefel für Gießereikoks wird in allen Fällen auch bei Feinkohlenkoks überschritten. Bei Rohschlammzusatz über 10% nähert sich der Schwefelgehalt dem Maximalwert für Hochofenkoks. Die bereits angeführte Aufbereitung des Schlammes wird auch für den Schwefelgehalt bessere Werte erzielen, wenn gleichzeitig der Schwefelgehalt der Feinkohle gedrückt wird. Die Heizwerte der Mischkohlenkokse fallen mit steigendem Zusatz und damit mit steigendem Aschengehalt und zwar bei Rohschlammischkoks stärker als bei Zusatz von Flotationsschlamm. Die Heizwerte differieren je nach Zusatzmenge nur 10—90 Kcal. Gegen den Koks aus Feinkohle gehen die Heizwerte bei bis zu 20% Zusatz an Rohschlamm um 200 kcal zurück. Bezieht man den Heizwert auf Reinkoks, ergibt sich Gleichheit der Heizwerte für alle Kokse. Bis 10% Rohschlammzusatz wird der handelsübliche Heizwert vollkommen eingehalten. Bei höherem Zusatz wird dieses Ziel durch die bereits erwähnte Aufbereitung des Schlammes erreicht.

Die Porosität der Kokse wurde nach dem Verfahren von Rose[27]) untersucht, das zwar keinen zahlenmäßigen Wert, aber, da es Anschliffe natürlich anfallender Koksstücke gibt, ein anschauliches Bild über Porenraum und Ausbildung bietet. Bei Untersuchung der Anschliffe zeigte sich zu-

[27]) Rose, Koppers Mitteilungen 1924, S. 171.

nächst die verschieden ausgebildete Rissigkeit der Kokse, die die Richtigkeit der Begutachtung der äußeren Beschaffenheit bestätigten. Was die Porosität angeht, erscheinen alle Kokse als dicht und haben das Gefüge eines normalen Hochofenkokses. Wesentliche Unterschiede in der Struktur sind nicht vorhanden. Nimmt man den Feinkohlenkoks als Maßstab, so erscheinen die Kokse aus Flotationsschlammischkohle alle etwas poröser, da sie mehr und mehr größere Poren aufweisen. Dies ist auch bei Rohschlammischkohlenkoks von 5% und 10% Zusatz der Fall. Dagegen machen die 15⁰ und 20% igen Rohschlammischkokse einen dichteren Eindruck. Der Rohschlammzusatz hat sich also kaum verschlechternd auf die Struktur ausgewirkt.

Die Bestimmung der Abriebfestigkeit (Zahlentafel XV) der Kokse wurde mit der Hammerschlagmühle nach dem Verfahren von Nedelmann[28]) durchgeführt. Die Abriebfestigkeit nimmt mit steigender Zusatzmenge zu, und zwar liegen die jeweiligen Werte bei Zusatz von Flotationsschlamm höher als bei Rohschlammischkoks. Die Erhöhung der Abriebfestigkeit ist auf die durch den Zusatz an feinerem Korn bedingte größere Kornfeinheit zurückzuführen, was aus dem Vergleich mit dem Kornanteil — 2 mm bezw. — 1 mm der einzelnen Mischkohlen (Zahlentafel X) ganz eindeutig hervorgeht. Das muß sich naturgemäß bei dem Koks aus der kornfeineren Flotationsschlammischkohle günstiger auswirken. Gibt man aber den Rohschlamm nicht in einer Korngröße 4 — 0 mm auf, sondern zerkleinert den Anteil + 0,75 mm, so ergeben sich höhere Werte als bei Zusatz von Flotationsschlamm. Dabei weisen die Siebanalysen dieser Rohschlammischkohlen keine größere Kornfeinheit auf, als die Kohlen mit Flotationsschlammzusatz. Das festgestellte günstige Ergebnis bei Flotationsschlammzusatz ist also eine Folge der größeren Kornfeinheit im Vergleich zum Zusatz von Rohschlamm. Diese Verbesserung wird aber dadurch ja wieder ausgeglichen, als das Korn + 0,75 mm, das nicht der Flotation zugeführt wird, sowieso in die Feinkohle geht. Der Zusatz von Rohschlamm hat sich auch hier als günstig für die Verkokung herausgestellt.

Die Aschenschmelzpunkte (Zahlentafel XV) zeigen eine Zunahme bei steigender Zusatzmenge, wobei jeweilig die Werte für Rohschlammischkoks höher liegen. Man hat angenommen, daß hierbei der Aschengehalt an sich eine Rolle spielen würde. Diese Annahme hat sich aber durch anderweitige Feststellungen und eigene Erfahrungen als nicht stichhaltig herausgestellt. Auch die chemische Zusammensetzung der Asche an sich kann zur Erklärung zu der oben festgestellten Erhöhung des Aschenschmelzpunktes nicht allein herangezogen werden. Der Grund muß vielmehr im stofflichen Aufbau der Mischkohlen gesucht werden, im Ver-

[28]) Nedelmann, Glückauf 1932, S. 769.

hältnis der verschiedenen Wirksamkeit von Weichfusit und Hartfusit. Nach Feststellungen von Kattwinkel[29]) enthält der Hartfusit, oder auch mineralisierter Fusit, eine Reihe hochschmelzender Mineralbeimengungen, wie Apatit, Phosphorit, sodaß sein Aschenschmelzpunkt wesentlich höher liegt, als der von Mattkohle, den man bisher als den höchsten annahm. Der aschenarme Weichfusit enthält derartige Beimengungen nicht und hat deshalb den niedrigen Aschenschmelzpunkt. Wie schon erwähnt, enthält der Rohschlamm mehr Hartfusit als der Flotationsschlamm und dieser fast den gesamten Weichfusit. Dieses anteilmäßige Verhältnis muß sich dann natürlich in einer Erhöhung des Aschenschmelzpunktes der Kokse aus Rohschlammischkohle im Vergleich zur Kohle mit Flotationsschlammzusatz bemerkbar machen und sich bei wachsendem Zusatz an Schlamm in steigender Form auswirken. Der Zusatz von Rohschlamm wirkt sich nur günstig auf den Aschenschmelzpunkt aus und bedeutet eine Besserung gegen Feinkohle.

Wenn man die Untersuchungsergebnisse zusammenfaßt, so kann gesagt werden, daß der Zusatz von Flotationsschlamm eine Verminderung der Verkokungsgüte der Kohle und Güte des ausgebrachten Kokses im Vergleich zu Rohschlammzusatz und auch zur Feinkohle mit Ausnahme des Aschen- und Schwefelgehaltes zur Folge hat.

Diese Unterlegenheit ist, wie schon gesagt, auf die geringe stoffliche Güte des Flotationsschlammes zurückzuführen, die sich ganz zwangsläufig bei der Mischung auswirken muß. Wenn mit Recht angenommen werden kann, daß durch die Flotation an sich eine kokstechnische Wertsteigerung des Rohschlammes kaum eintreten wird, daß durch den Zusatz von Flotationsschlamm eine Wertverminderung der Mischkohle eintreten muß, oder keine Verbesserung erzielt wird im Vergleich zu Rohschlammzusatz, dann ist unbedingt zu untersuchen, ob der Zusatz unaufbereiteten Schlammes zur Feinkohle eine wesentliche Wertverminderung der Mischkohle darstellt.

Hierzu ist festzustellen, daß der Zusatz von unaufbereitetem Schlamm in der Zusammensetzung wie bei den Untersuchungen vorgelegen hat, vollkommen möglich ist und auch bis zur maximalen Zusatzmenge keine nachdrückliche Beeinträchtigung der Verkokungsgüte der Kohle und Verschlechterung des ausgebrachten Kokses bedeutet. Darüber hinaus hat sich der Rohschlammzusatz in manchen Fällen — Treiben, Schwinden, Stückigkeit, Porösität, Aschenschmelzpunkt, Festigkeit — günstig auf die Verkokung im Vergleich zur Feinkohle ausgewirkt. Die teilweise festgestellte Verschlechterung — Backfähigkeit, Blähen — steht demgegenüber zurück bezw. hebt die anderen Vorteile

[29]) Kattwinkel, Glückauf 1934, S. 984.

keineswegs auf. Es ist in keinem Fall zu sagen, daß der Zusatz von Rohschlamm den Koks in seiner Beschaffenheit wesentlich beeinflußt. Die teilweise vorhandene Beeinträchtigung des Kokses ist so gering, daß der Koks einen unbeanstandeten Absatz ermöglicht.

Von der Verkokungsmöglichkeit und -güte einer Kohle und der eigentlichen Güte des Kokses ist streng zu scheiden die Verkaufsmöglichkeit, die außer Wassergehalt, in der Hauptsache von Aschen- und Schwefelgehalt und sehr weitgehend von der Konjunktur abhängig ist. Hierzu ist zu sagen, daß der Flotationsschlammischkoks infolge niederen Aschen- und Schwefelgehaltes eine bessere Verkaufsmöglichkeit hat, auch bei Maximalzusatzmenge. Bei Rohschlammzusatz wird jedoch erst ab einer Höhe von 12—15% die Verkaufsmöglichkeit als Koks I. Sorte in Frage gestellt. Dieser Betrag liegt aber über der durch den natürlichen Anfall gegebenen Zusatzmenge und dieser Zusatz ist durch aus möglich. Erst bei höherem Zusatz, höherem Aschengehalt des Schlammes oder weiterem Zusatz von hochaschehaltigem Staub können die Verkaufsbedingungen bei gleichem Aschengehalt der Feinkohle nicht mehr eingehalten werden. Für diesen Fall müßte dann eine Aufbereitung des Schlammes erfolgen. Wenn man jedoch die Feinkohle statt auf 5% auf 4—4,5% Asche setzt, was heute ohne hohen Anfall an Mittelprodukt bei normal aufbereitbarer Kohle durchaus möglich ist, ist die Toleranz von 9% Asche im Koks einzuhalten, was auch für den Schwefel gilt. Eine sich aus den jeweiligen Umständen ergebende dennoch notwendige Aufbereitung wäre aber nur soweit durchzuführen, daß die Einhaltung des Höchstaschen- und Schwefelgehaltes des Kokses gewährleistet ist. Die Forderung einer stofflichen Aufbereitung scheidet aus, sofern nicht der Schlamm eine derartige Zusammensetzung hat, daß er den stofflichen Aufbau der Gesamtkohle beeinträchtigt. Das ist aber nur dann gegeben, wenn der Fusitgehalt der Gesamtkokskohle 15% überschreitet. Das wird jedoch in den wenigsten Fällen eintreten. Bei der lediglich unter dem Gesichtspunkt der Drückung von Asche und Schwefel vorzunehmenden Aufbereitung dürfte in den weitaus meisten Fällen eine Aufbereitung des Gaskohlenschlammes genügen, da bei Fettkohlenschlamm sehr oft eine Aufbereitung nicht nötig ist. Ist jedoch der Gaskohlenschlamm in seinem stofflichen Aufbau derart, daß er die stoffliche Zusammensetzung der Gesamtkohle schädigt, so ist es zweckmäßiger, den gefährdenden Kornanteil auszuhalten, als eine stoffliche Aufbereitung zu versuchen. Der Verlust dürfte in der Kostenbilanz niedriger ausfallen als der Betrieb der stofflichen Aufbereitung.

Die Notwendigkeit einer Aufbereitung kann sich unter Umständen dann noch ergeben, wenn der Feinkohle außer dem Schlamm auch noch der Staub der Windsichtung zugesetzt wer-

den soll. Abgesehen davon, daß es wenig zweckmäßig erscheint, den Staub, ohne daß es durch die stoffliche Art der Kohle unbedingt notwendig erscheint, zuzusetzen, läßt sich das doch oft infolge der Betriebsverhältnisse oder mangelnder Absatzmöglichkeit des Staubes nicht vermeiden. In diesem Falle ist es zweckmäßig, nur den Fettkohlenstaub zuzusetzen, der in den meisten Fällen stofflich unter Einschluß der Asche so beschaffen ist, daß er die Gesamtqualität der Kokskohle nicht beeinflußt, und dadurch eine Aufbereitung des Schlammes als höherem Aschenträger nicht notwendig macht.

Steht man jedoch vor der Notwendigkeit, den Gaskohlenstaub ebenfalls zuzusetzen, so wird man sich zu einer Aufbereitung des Schlammes in der angedeuteten Richtung entschließen müssen. Dabei bleibt immer noch die Möglichkeit offen, daß man sich entschließt, den Gaskohlenschlamm in einem größeren Anteil, dessen Höhe sich nach der genauen Untersuchung richtet, auszuhalten, und dadurch eine Aufbereitung des Schlammes überhaupt vermeidet. Diese Frage kann aber nur unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung des Schlammes im Gegensatz zu seiner Aushaltung betrachtet werden.

Mit den Untersuchungen und ihren Ergebnissen soll nun keineswegs die Aufbereitung des Schlammes durch die Flotation verneint werden. Es mag durchaus Verhältnisse geben, bei denen die Flotation tatsächlich eine Wertsteigerung in kokstechnischer Beziehung erzielt, oder sie aus anderen Gründen, wenn sämtliche anderen Möglichkeiten einer Drückung des Aschen- und Schwefelgehaltes wirtschaftlich nicht tragbar sind, notwendig ist. Aber diese Verhältnisse und Notwendigkeiten dürfen keineswegs verallgemeinert werden. Die Flotation stellt, wenn sie sachgemäß, d. h. mit der notwendigen physikalisch-chemischen Vorbehandlung, ohne die in den meisten Fällen ein wirtschaftlicher Erfolg nicht erreicht wird, betrieben wird, immerhin einen nicht unkomplizierten Betrieb dar, der sich in die Rauheit und Unempfindlichkeit der Kohlenaufbereitung an sich nicht ohne weiteres einfügen läßt. Sie bedeutet auch eine nicht unbeträchtliche finanzielle Belastung der Betriebskosten. Bei den Betriebskosten, die stellenweise in der Literatur angegeben sind, handelt es sich nur um reine Betriebskosten, in denen Abschreibungen und Amortisation für Gebäude und Maschinen nicht enthalten sind. Diese Gesamt-Betriebskosten stehen sehr oft in keinem Verhältnis zu dem durch den Verwendungszweck bedingten Erfolg. Die Betriebskosten in der Aufbereitung nehmen mit der Minderwertigkeit des Aufgabegutes und seiner Kornfeinheit zu. Die Notwendigkeit der Aufbereitung durch Flotation kann ganz allgemein nur unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit betrachtet werden. Ferner ist von Fall zu Fall ganz systematisch zu untersuchen, wie groß der aufbereitungstechnische Erfolg im Sinne

des Verwendungszweckes ist und ob nicht durch andere Maßnahmen ein ähnlicher oder gar besserer Erfolg zu erzielen ist, selbst unter der Voraussetzung, daß man einen Teil des Haufwerks abgehen läßt. Viel wesentlicher ist noch die Feststellung, ob es nicht überhaupt möglich ist, den Schlamm unaufbereitet zuzusetzen, was sich in den vorhergehenden Untersuchungen als vollkommen durchführbar herausgestellt hat. Die Aufbereitung von Schlamm durch die Flotation ist keine Allgemein-Einrichtung der Aufbereitung der Kohle, sondern nur eine ganz spezielle Art, deren Anwendbarkeit keineswegs von vornherein feststeht und systematischer Untersuchungen bedarf, um sich vor Enttäuschungen zu schützen.

Lebenslauf.

Ich, Alexander Hermann van Ahlen, bin geboren am 27. 7. 1903 in Essen-Katernberg als Sohn des Alexander van Ahlen und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Knümann. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule und neunjährigem Besuch des Realgymnasiums in Essen-Katernberg bestand ich Frühjahr 1922 die Reifeprüfung. Im Wintersemester 1922/23 bezog ich als ordentlicher Studierender des Bergfachs die Bergakademie Clausthal. Im Winsemester 1927/28 wechselte ich zur Technischen Hochschule Breslau und legte dort im Sommer 1932, nachdem ich vornehmlich in den Instituten von Professor Groß und Professor Neumann gearbeitet hatte, das Examen als Diplom-Ingenieur Fachrichtung Bergbau nach eigenem Studien- und Prüfungsplan unter besonderer Berücksichtigung der Kokerei- und Aufbereitungstechnik ab. Nach bestandenem Examen war ich zunächst in der Zentralaufbereitung der Zeche Zollverein in Essen-Katernberg tätig, wo ich die Anregungen zu den vorliegenden Untersuchungen erhielt.

Von Januar 1933 bis Juli 1934 war ich im Hauptlaboratorium der Gewerkschaft Mathias Stinnes in Essen-Karnap mit der Durchführung der vorliegenden Arbeit beschäftigt. Seit September 1934 bin ich bei der Firma Heinrich Koppers G. m. b. H., Bau und Betrieb von Anlagen zur Veredelung von Brennstoffen, in Essen als Betriebsingenieur tätig.